

**О.В. ХЛАНЬ, М.А. ТКАЧУК, А.В. ГРАБОВСКИЙ, О.О. АТРОШЕНКО, А.Ю. ВАСИЛЬЕВ,
А.Ю. ТАНЧЕНКО, В. В. ШЕМАНСКАЯ**

**РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ АНАЛІЗУ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ І
НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРИ ОБГРУНТУВАННІ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ
ДЛЯ БОЙОВИХ МАШИН ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ**

Для забезпечення технічних рішень і тактико-технічних характеристик для елементів бойових броньованих машин та технологічних систем для їх виготовлення використані запропоновані підходи, методи та моделі, які реалізують узагальнене параметричне моделювання процесів і станів у досліджуваних елементах конструкцій. Як об'єкти досліджень обрані базові плити для оснащення технологічних операцій на фрезерно-сверлильних верстатах, панелі бронекорпусів легкоброньованих машин та високо обертові елементи двигунів. Описані результати досліджень.

Ключові слова: бойова броньована машина, тактико-технічна характеристика, бойове застосування, засіб ураження, технологічно-виробнича система, параметричне моделювання, напружено-деформований стан

**А.В. ХЛАНЬ, Н.А. ТКАЧУК, А.В. ГРАБОВСКИЙ, А.А. АТРОШЕНКО, А.Ю. ВАСИЛЬЕВ,
А.Ю. ТАНЧЕНКО, В. В. ШЕМАНСКАЯ**
**РЕШЕНИЕ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ АНАЛИЗА ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ОБОСНОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ
РЕШЕНИЙ ДЛЯ БОЕВЫХ МАШИН И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

Для обеспечения технических решений и тактико-технических характеристик для элементов боевых бронированных машин и технологических систем для их изготовления предложены подходы, методы и модели, которые реализуют обобщенное параметрическое моделирование процессов и состояний в исследуемых элементах конструкций. Как объекты исследований избраны базовые плиты для оснастки технологических операций на фрезерно-сверлильных станках, панели бронекорпусов легкобронированных машин и высокооборотные элементы двигателей. Они продемонстрировали характерные особенности распределения прогибов и напряжений у исследуемых элементов. Выявлены также особенности собственных частот и форм колебаний этих элементов. Описаны результаты исследований.

Ключевые слова: боевая бронированная машина, тактико-техническая характеристика, боевое применение, средство поражения, технологично-производственная система, параметрическое моделирование, напряженно-деформированное состояние

**O. KHLAN, M. TKACHUK, A. GRABOVSKIY, O. ATROSHENKO, A. VASILIEV, A. TANCHENKO,
V. SHEMANSKAYA**
**DECISION OF THE APPLIED TASKS OF ANALYSIS OF DYNAMIC PROCESSES AND
TENSELY-DEFORMED STATE AT GROUND OF TECHNICAL DECISIONS
FOR FIGHTING MACHINES AND TECHNOLOGICAL SYSTEMS FOR THEIR MAKING**

For providing of technical decisions and тактико-технічних descriptions for the elements of the fighting reserved machines and technological systems for their making used offered approach, methods and models that will realize the generalized self-reactance design of processes and states in the investigated elements of constructions. As objects of researches are select base flags for rigging of technological operations on фрезерно-сверлильных machine-tools, panels of бронекорпусів of легкоброньованих machines and highly circulating elements of engines. They demonstrated characteristic features of deflections and stresses distribution in researched elements. Specific features of the natural frequencies and modes of oscillations of these elements are also determined. Results of researches are described

Keywords: fighting armored vehicle, tactical and technical characteristic, parametric modeling, fighting application, means of destruction, technological and manufacturing system, stress-strain state

Вступ. Для проектно-технологічно-виробничого забезпечення технічних і тактико-технічних характеристик елементів бойових броньованих машин (ББМ) та технологічних систем для їх виготовлення необхідне проведення комплексу досліджень фізико-механічних процесів і станів, які реалізуються при виробництві, експлуатації та бойовому застосуванні. Раніше [1–7] розроблені удосконалені математичні та чисельні моделі, а також загальні підходи та методи здійснення таких досліджень. Вони можуть бути застосовані до розв'язання задач аналізу процесів і станів та синтезу технічних рішень елементів ББМ й технологічних систем для їх виготовлення. Зокрема, у першу чергу слід звертати увагу на ті елементи, які прогнозовано створюють проблемні ситуації на тому чи іншому етапі життєвого циклу об'єктів ББМ. Так, на етапі виробництва бойових броньованих машин (механо-

обробка) важливими є властивості точності та жорсткості елементів технологічних систем, які впливають на точність та якість оброблення деталей вузлів, систем та агрегатів бойових броньованих машин. Для деталей виробництва (зварювальні операції) та подальшої експлуатації суттєвий інтерес складають характеристики міцності таких типових елементів як бронепанелі бронекорпусів ББМ легкої категорії за масою. Для етапів виготовлення та експлуатації одним із визначальних є, наприклад, міцність крильчатки нагнітача повітря двигуна типу 6ТД-2Е. Бойове застосування ББМ передбачає формування жорстких вимог до основної зброї. Вимоги надійності та боєготовності ББМ на етапі експлуатації та виконанні бойових завдань породжують для високооборотних деталей, зокрема, зокрема

© О.В. Хлань, М.А. Ткачук, А.В. Грабовський, О.О. Атрошенко, А.Ю. Васильєв, А.Ю. Танченко, В. В. Шеманська, 2018

двигунів внутрішнього згоряння, обмеження для режимів їхньої роботи. Отже, цим самим окреслюються критично важливі компоненти БММ і технологічних систем для їх виготовлення.

Зрозуміло, що для конкретизації об'єктів прикладних досліджень необхідно проводити аналіз конструкцій, технологій, умов експлуатації та бойового застосування у тому чи іншому конкретному випадку. Далі у роботі описано розв'язання низки прикладних задач, які породжені вимогами практики, на прикладі базових плит для верстатних пристосувань.

Аналіз динамічних, міцнісних та жорсткісних характеристик базових плит для оснащення пристосувань для гнучких технологічних систем на підприємствах бронетанкобудування. Технологічні системи, які приймають участь у виготовленні деталей, вузлів, систем і агрегатів БММ, здійснюють безпосередній вплив на їхні тактико-технічні і технічні характеристики. Враховуючи цю обставину, слід звертати увагу на характеристики точності та жорсткості елементів технологічних систем. Так, для листоштампувального виробництва слід провести аналіз властивостей системи "прес – штамп – ріжучі (формоутворюючі) елементи – заготовка", для виробництва деталей із полімерних матеріалів – "термопластавтомат – формоутворюючі елементи – робочий матеріал", для механооброблювального виробництва – "верстат – пристосування – інструмент – деталь" тощо.

Елементи цих технологічних систем з різних точок зору є суттєво нерівноправними. Так, за важливістю, вартістю, точністю, жорсткістю та іншими показниками центральною ланкою системи є обладнання (верстат, прес, термопластавтомат тощо). Разом із цим обладнання є і найбільш інерційним елементом системи, заміна чи модернізація якого – достатньо висока за вартістю та тривала у часі. Інструмент визначає режими обробки, технологічні зусилля, якість оброблення деталі тощо. Вибір заготовки зумовлюється призначенням тієї чи іншої деталі, яка виготовляється із неї.

Таким чином, різні елементи технологічної системи чинять різноманітний вплив на окремі складові технічних характеристик деталей, вузлів систем, агрегатів та БММ у цілому. Разом із тим практичну цінність мають не стільки окремі складові, а їх сумарний вплив. Проте якраз ця вимога диктує критерії щодо обґрунтування характеристик також і окремих компонент технологічних систем. Вони полягають у збалансованості характеристик окремих компонент та їх відповідності характеристикам основного елемента технологічної системи – обладнання.

Зокрема, із точки зору варіативності на практиці, як правило, існують певні об'єктивні обмеження щодо заміни обладнання, інструменту чи заготовки, і всі подібні можливості концентруються на пристосуваннях (штампах, прес-формах тощо). Отже, здійснювати цілеспрямований вплив на характеристики системи в цілому можна у першу чер-

гу за рахунок їх точності та жорсткості.

Застосовуючи цей підхід далі, слід виділити у технологічній системі підсистеми типу "пристосування": верстатне пристосування складається із базових елементів, зажимних пристроїв, базуючих елементів тощо. Тепер розглядаючи уже цю підсистему, можна відмітити, що в першу чергу на результуючі точність та жорсткість основний вплив здійснюють базуючі елементи. Це пояснюється тим, що вони безпосередньо впливають і на точність, і на жорсткість. При цьому базові (переважно, масивні корпусні) елементи мають, як правило, високі точнісні та жорсткісні характеристики, оскільки вони замикають на собі силові потоки від технологічних зусиль, а також розмірні ланцюги на досліджуваній ділянці, а тому при їх проектуванні присутнє намагання поготів забезпечити високий рівень контрольованих характеристик. Зажимні елементи, як правило, при коректному проектуванні практично не здійснюють безпосереднього впливу на точність та жорсткість, тільки забезпечуючи силове замикання у технологічній підсистемі. Отже, у кінцевому підсумку сфера впливу звужується до базуючих елементів, які можуть або суттєво погіршити сумарні властивості підсистеми та технологічної системи в цілому, або зберегти їх на тому ж рівні. Тому у результаті визначаються результуючі точнісні та жорсткісні властивості цих систем та підсистем, а на цій основі – можливість розв'язання оберненої задачі про обґрунтування таких параметрів базуючих елементів технологічних систем та підсистем, які забезпечують збалансування властивостей окремих складових, а, отже, і підвищення загальних характеристик тих чи інших систем у цілому.

Зокрема, на ДП "Завод ім. В.О. Малишева" використовуються верстати фрезерно-свердлильної групи. До механічної обробки деталей елементів бойових броньованих машин на цих верстатах, у т.ч. – з ЧПК та типу ОЦ, ставляться високі вимоги за точністю та якістю обробки поверхні. Самі ці верстати мають високі характеристики жорсткості та точності. Відповідно, і верстатні пристосування мають відповідні характеристики (у першу чергу – їх базуючі елементи).

На теперішній час існує велика кількість видів верстатного оснащення. Серед них значне розповсюдження мають системи пристосувань, у яких базування здійснюється на базових плитах-супутниках, які передаються мобільними роботизованими лініями від верстата до верстата, забезпечуючи обробку деталей з однієї установки, а це підвищує кінцеву точність механічної обробки. Ці базуючі елементи виконуються у вигляді товстих плит із системою пазів або отворів, за якими відбуваються базування та кріплення деталей для механічної обробки (рис. 1) [1]. Такі особливості форми не дають можливості застосувати для розрахунків жорсткості цих плит моделі суцільних пластин. Потрібні більш точні тривимірні моделі напружено-деформованого стану.

Так, у роботі [1] описане дослідження властивостей базових плит із Т-видними пазами. Як зазначається, для таких плит основними критеріями є жорсткість, а міцність забезпечується поготів. Проте це втрачає справедливості стосовно плит із базуючими отворами, у які вкладені із високою точністю позиціонування втулки (за допомогою накладання на плиту-шаблон, яка виготовлена із прецизійною точністю). У самій плиті із помірною точністю використана система чорнових отворів більшого, ніж зовнішній діаметр втулок, розміру. Після установки серійної плити на шаблонну та високоточного позиціонування втулок зазори, що утворюються між ним та основним матеріалом, заповнюються клейовим компаундом на основі епоксидної смоли або іншого типу (рис. 2). Від такого заповнювання вимагаються: мала усадка, висока адгезійна та загальна міцність, співмірний із основним матеріалом коефіцієнт лінійного термічного розширення.

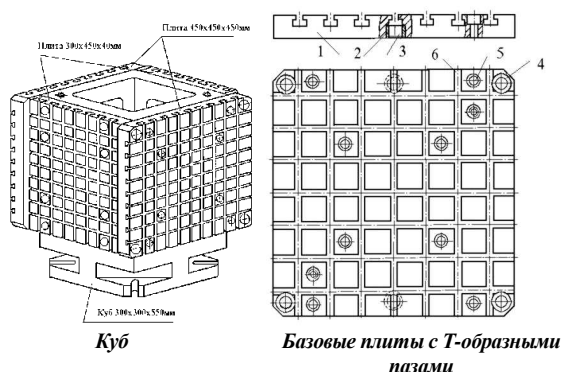


Рис. 1 – Типові елементи верстатних пристосувань із базуючими елементами у вигляді плит

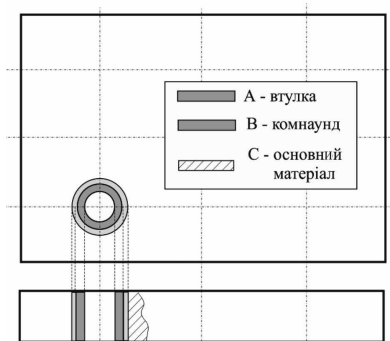


Рис. 2 – Базові плити із системою втулок, закріплених компаундом

Враховуючи, що при цьому механічні властивості компаунда значно нижчі, ніж у основного ма-

теріалу, на додаток до задач забезпечення жорсткості та точності виникають також і задачі забезпечення міцності як усієї плити (враховуючи ослаблюючу дію більших за діаметром, ніж звичайно, отворів), так і зони клейового компаунда. Таким чином, утворюються дворівнева система задач: "локальна" – щодо напружено-деформованого стану зони клейового компаунда та "глобальна" – відносно всієї базової плити.

На рис. 3 наведена розрахункова схема т.з. "глобальної" задачі. На її основі будується параметризована скінченно-елементна модель, у якій варіюваними є габаритні розміри у плані; діаметр отвору; товщина клейового шару; величина зусиль різання, які діють з боку інструмента на деталь, що розміщена на плиті та обробляється за певними технологічними режимами (подача, глибина різання, частота обертання інструмента, властивості оброблюваного матеріалу, які визначають зусилля різання).

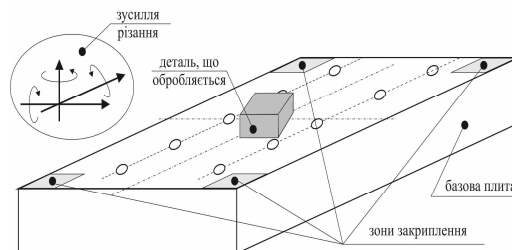


Рис. 3 – Розрахункова схема для визначення НДС базової плити із системою отворів

Враховуючи велику різноманітність конструктивних варіантів виконання базових плит, розроблена параметрична модель інтегрується у програмне середовище, яке дає можливість варіювати усі виявлені параметри у широких діапазонах. Це дає можливість проводити як поточний багатоваріантний розрахунок напружено-деформованого стану, так і синтез проектно-технологічних параметрів, які забезпечують необхідний рівень показників точності, жорсткості та міцності досліджуваних базових плит. Таким чином, розроблено ту частину спеціалізованого програмно-моделювального комплексу, яка орієнтується на елементи технологічних систем (у даному випадку – на забезпечення точності та якості обробки поверхні деталей елементів ББМ на верстатах фрезерно-свердильної групи).

На рис. 4 представлені граничні умови закріплення та навантаження досліджуваної базової плити (вар. 1 – навантаженої у центрі поперечною силою 10^3 Н, вар. 2 – силами $\{F_x, F_y, F_z\} = 10^3$ Н та моментами $\{M_x, M_y, M_z\} = 10^3$ Н·м. В обох випадках реалізується опирання на кутові зони A, B, C, D (див. рис. 4).

В табл. 1 наведені варіанти параметрів, для поєднань яких проводилися дослідження напружено-деформованого стану, власних форм та частот коли-

вань базових плит, а на рис. 5–25 та у табл. 2–6 – результати напружено-деформованого стану, власних частот та форм коливань базових плит.

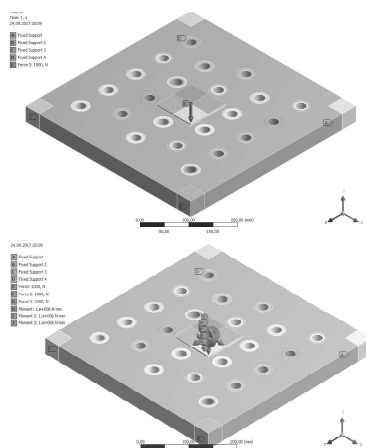


Рис. 4 – Граничні умови закріплення та навантаження досліджуваної базової плити

Таблиця 1 – Варіанти базових плит, що досліджуються

№ вар.	Розмір плити в плані, мм	Товщина плити, мм	Діаметр металічної втулки, мм	Товщина металічної втулки, мм	Товщина шару епоксидного компаунда, мм	Модуль пружності епоксидного компаунда
BL	480x480	50				
1		30				
2		40	24			
3		60		4		
4			20		4	
5			28			
6				2		
7				6		3780
8		50		8		
9					2	
10			24		6	
11					8	
12	640x640			4		
13	800x800				4	
14						3402
15						4152

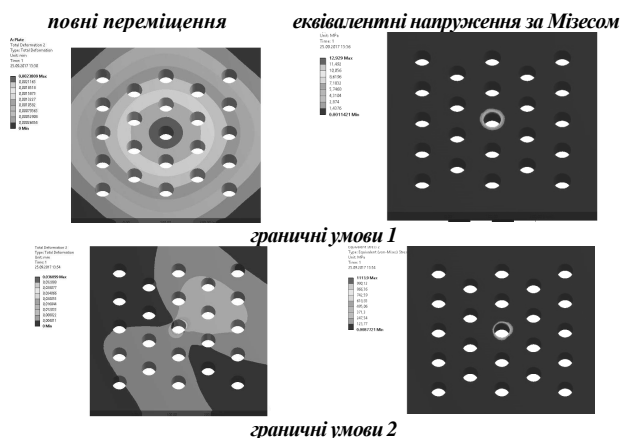


Рис. 5 – Результати дослідження НДС базових плит без втулок (вар. BL, див. табл. 1)

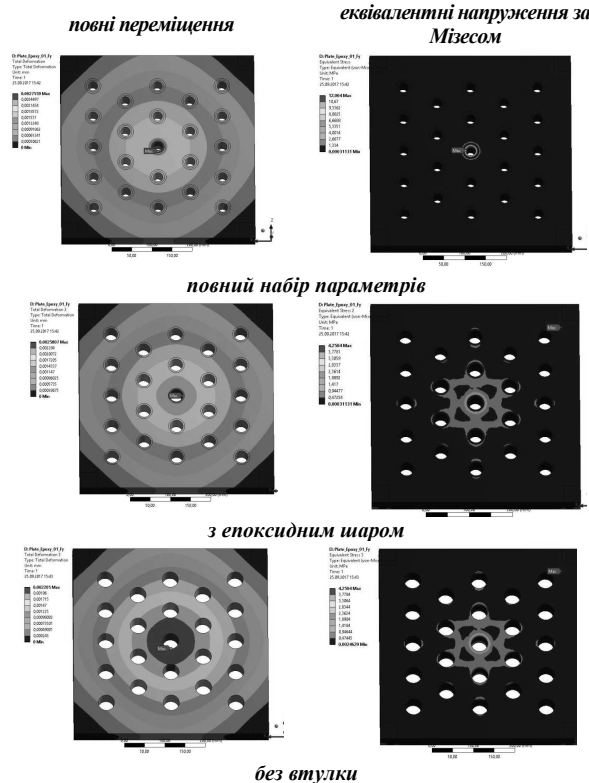


Рис. 6 – Результати дослідження НДС базових плит без втулок: граничні умови 1 (вар. BL, див. табл. 1)

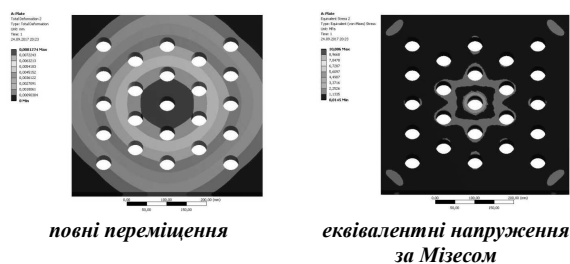


Рис. 7 – Результати дослідження НДС базових плит (вар. 1, див. табл. 1)

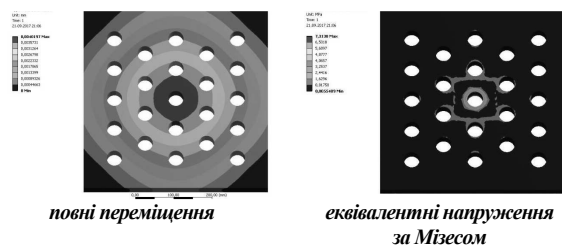


Рис. 8 – Результати дослідження напружено-деформованого стану базових плит (вар. 2, див. табл. 1)

За цими даними в узагальненому параметричному просторі формується дискретна множина точок, які відповідають певним характеристикам (точності, жорсткості і міцності). На ці хмари точок можна натягнути апроксимаційні поверхні відгуку, після чого провести оптимізаційні процедури та визначити такі параметри, які відповідають певним критеріям та обмеженням.

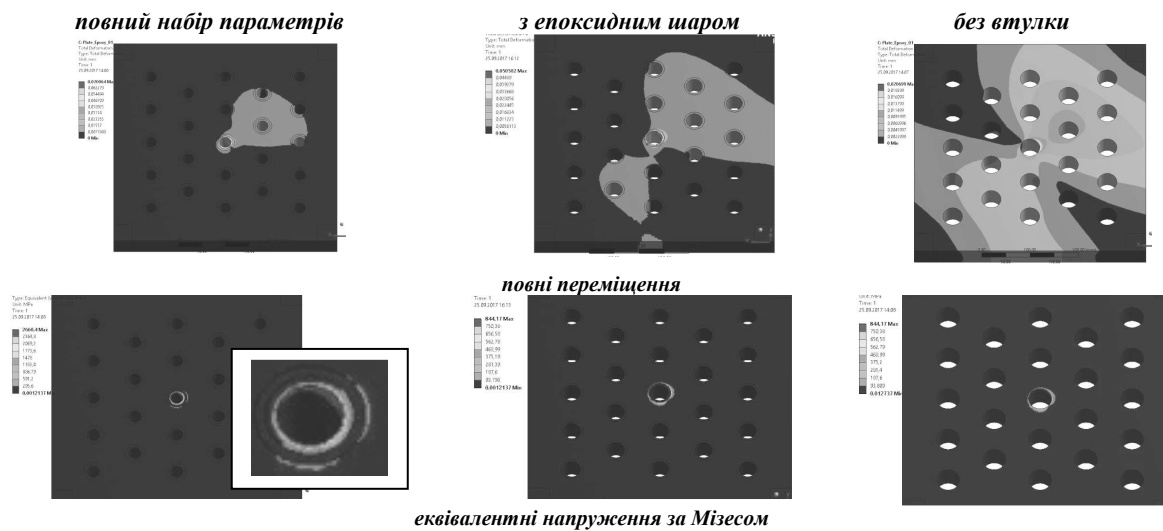


Рис. 9 – Результати дослідження напружено-деформованого стану базових плит з епоксидним шаром та сталевими втулками: граничні умови 2 (варіант **BL**, див. табл. 1)

Таблиця 2 – Власні частоти та форми коливань базових плит без втулок: граничні умови 1 (вар. **BL**, див. табл. 1)

Власна частота коливань, Гц	Власна форма коливань	Власна частота коливань, Гц	Власна форма коливань	Власна частота коливань, Гц	Власна форма коливань
1 670		2 1148		3 1157	
4 1295		5 1844		6 1876	
7 2186		8 2543		9 2747	

Таблиця 3 – Власні частоти та форми коливань базових плит без втулок: граничні умови 2 (вар. **BL**, див. табл. 1)

Власна частота коливань, Гц	Власна форма коливань	Власна частота коливань, Гц	Власна форма коливань	Власна частота коливань, Гц	Власна форма коливань
1 659		2 1136		3 1141	

Власна частота коливань, Гц	Власна форма коливань	Власна частота коливань, Гц	Власна форма коливань	Власна частота коливань, Гц	Власна форма коливань
4 1288		5 1815		6 1840	
7 2192		8 2518		9 2713	

Таблиця 4 – Власні частоти та форми коливань базових плит без втулок (вар. 1, див. табл. 1)

Власна частота коливань, Гц	Власна форма коливань	Власна частота коливань, Гц	Власна форма коливань	Власна частота коливань, Гц	Власна форма коливань
1 473		2 824		3 830	

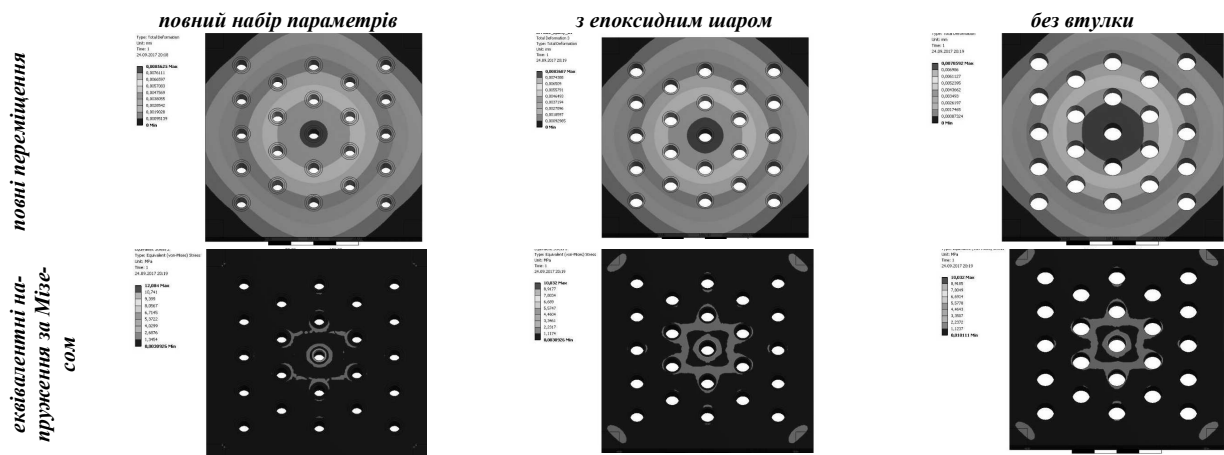


Рис. 10 – Результати дослідження напружено-деформованого стану базових плит з епоксидним шаром та стальними втулками (вар. 1, див. табл. 1)

Таблиця 5 – Власні частоти та форми коливань базових плит з епоксидним шаром та стальними втулками (вар. 1, див. табл. 1)

Власна частота коливань, Гц	Власна форма коливань	Власна частота коливань, Гц	Власна форма коливань	Власна частота коливань, Гц	Власна форма коливань
1 466		2 818		3 821	

Таблиця 6 – Власні частоти та форми коливань базових плит без втулок (варіант 2, див. табл. 1)

Власна частота коливань, Гц	Власна форма коливань	Власна частота коливань, Гц	Власна форма коливань	Власна частота коливань, Гц	Власна форма коливань
1 579		2 1005		3 1012	

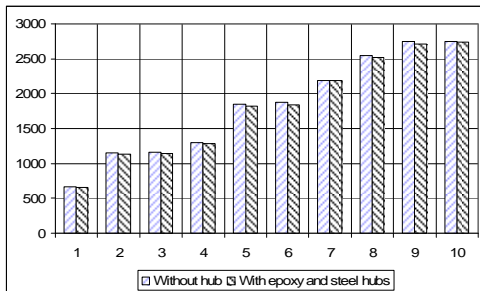


Рис. 11 – Власні частоти базових плит без втулок та з епоксидним шаром та стальними втулками (вар. BL)

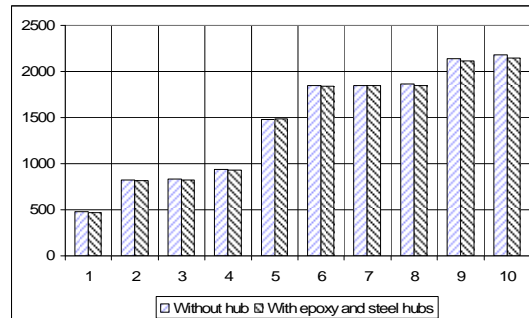


Рис. 12 – Власні частоти базових плит без втулок та з епоксидним шаром та стальними втулками (вар. 1, див. табл. 1)

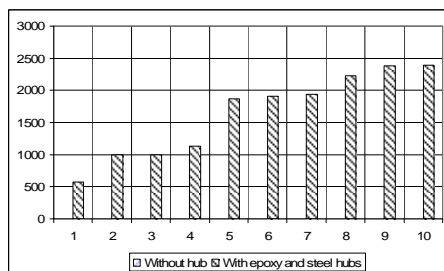


Рис. 13 – Власні частоти базових плит без втулок із епоксидним шаром та стальними втулками (вар. 2)

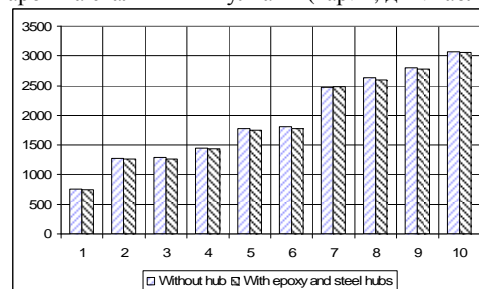


Рис. 14 – Власні частоти базових плит без втулок із епоксидним шаром та стальними втулками (вар. 3)

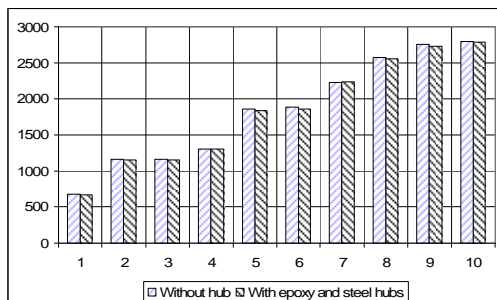


Рис. 15 – Власні частоти базових плит без втулок із епоксидним шаром та стальними втулками (вар. 4)

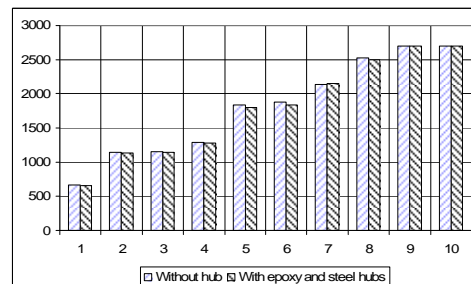


Рис. 16 – Власні частоти базових плит без втулок із епоксидним шаром та стальними втулками (вар. 5)



Рис. 17 – Власні частоти базових плит без втулок із епоксидним шаром та стальними втулками (вар. 6)

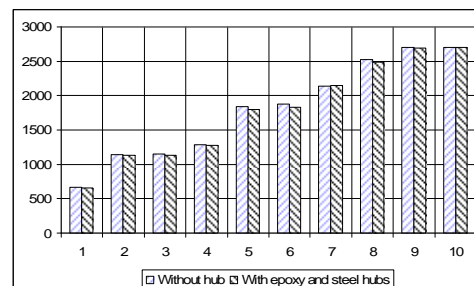


Рис. 18 – Власні частоти базових плит без втулок із епоксидним шаром та стальними втулками (вар. 7)

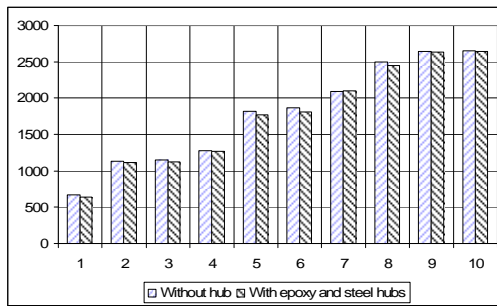


Рис. 19 – Власні частоти базових плит без втулок із епоксидним шаром та сталюми втулками (вар. 8)

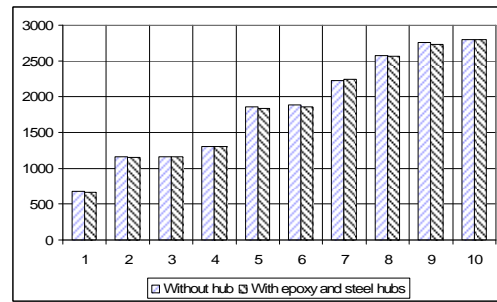


Рис. 20 – Власні частоти базових плит без втулок із епоксидним шаром та сталюми втулками (вар. 9, див. табл. 1)

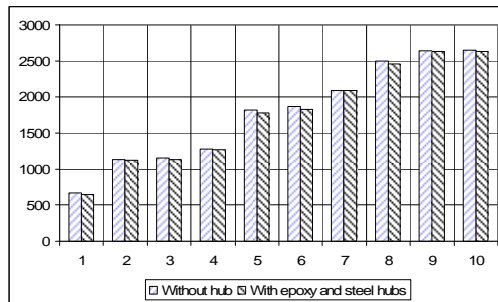


Рис. 21 – Власні частоти базових плит без втулок із епоксидним шаром та сталюми втулками (вар. 11, див. табл. 1)

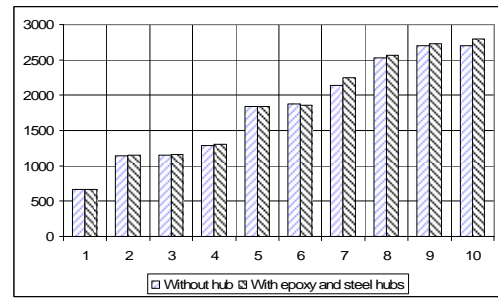


Рис. 22 – Власні частоти базових плит без втулок із епоксидним шаром та сталюми втулками (вар. 10)

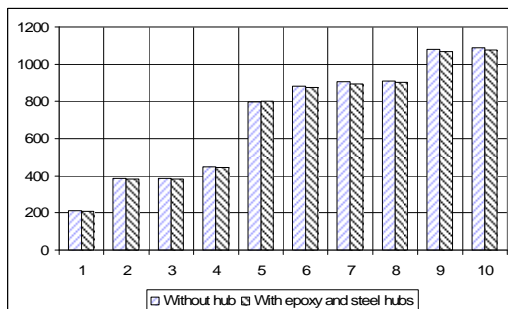


Рис. 23 – Власні частоти базових плит без втулок із епоксидним шаром та сталюми втулками (вар. 13)

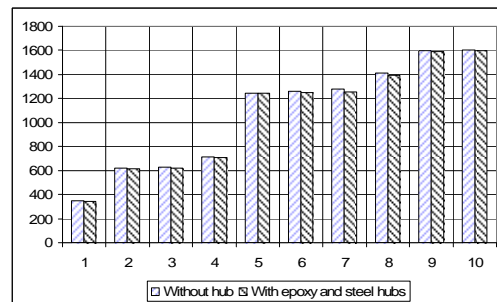


Рис. 24 – Власні частоти базових плит без втулок із епоксидним шаром та сталюми втулками (варіант 12)

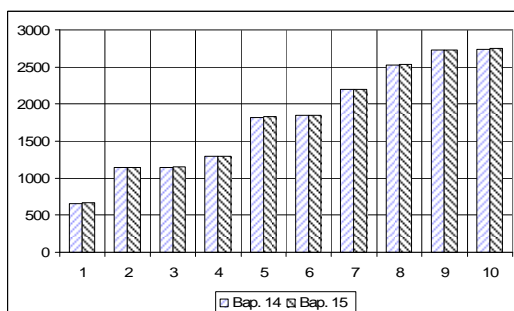


Рис. 25 – Власні частоти базових плит із епоксидним шаром та сталюми втулками для вар. 14 та 15

Аналіз результатів проведених досліджень дає підстави для визначення певних закономірностей:

1) картини розподілу компонент напружено-деформованого стану для різних варіантів поєднань параметрів та схем навантажень базових плит багато в яких випадках співпадають за характером;

2) міцність базових плит при дії зусиль різання у реальному діапазоні режимів виконання техноло-

гічних операцій забезпечується у всьому інтервалі зміни їх параметрів;

3) визначальними при обґрунтуванні параметрів є характеристики жорсткості та динамічні характеристики.

Разом із тим уже на основі проведених досліджень обґрунтовані наступні рекомендації щодо проектно-технологічно-виробничих рішень:

- товщину базових плит рекомендується обирати в діапазоні 8÷12 % габаритного розміру у плані;
- діаметр отворів у плитах рекомендується обирати в діапазоні 1,2÷1,4 діаметра втулки;
- товщину клейового шару із композиційного матеріалу слід обмежувати діапазоном 2÷4 мм;
- модуль пружності матеріалу клейового шару слід обмежити рівнем 5÷10 % від модуля пружності основного матеріалу базової плити.

Що стосується режимів та зусиль різання, то відносно їх слід зазначити, що для чорнових операцій обробки, на яких діють значні сили різання, вимоги до жорсткості і точності ослаблені. Разом із цим

вступають в силу обмеження за міцністю. Обмежуючись певними рівнями допустимих напружень, що впливають із механічних властивостей матеріалів, із яких виготовлені базові плити, можна отримувати конкретні рекомендації щодо проектних, технологічних та виробничих рішень. Навпаки, для чистових операцій основні обмеження впливають із вимог жорсткості і точності, оскільки зусилля різання малі, а, отже, і напруження – низькі. Тоді, орієнтуючись на отримані залежності, можна рекомендувати певні проектно-технологічно-виробничі рішення.

Комбінуючи вимоги з міцності та жорсткості, можна в тому чи іншому конкретному випадку обґрунтовувати відповідні рішення. Так, для випадку вибору матеріалу типу Сталь 40Х для габаритів плит 420х420 (мм) товщина 45 мм забезпечує запас міцності при дії зусиль різання на рівні 5 кН для деталі габаритом 50х150х100 (мм), а для рівня зусиль різання 0,2 кН вклад пружних переміщень – на рівні 1 мкм.

База даних, створена на основі аналізу результатів проведених досліджень, передана для використання у практиці виробництва елементів ББМ на підприємствах України.

Якщо розглянути "локальну" задачу, яка зорієнтована на аналіз напружено-деформованого стану зони "втулка – клейовий шар – базова плита", то аналіз отриманих результатів досліджень дають підстави для наступних висновків і рекомендацій.

1. У зоні клейового компаунда при дії різних силових чинників (сили вдовж різних осей та моменти відносно цих осей) виникає складний НДС, який принципово відрізняється від припущень та гіпотез, що використовуються у розрахунковій практиці та базуються на спрощених моделях; отже, можна зробити висновок про те, що такі спрощені моделі незастосовні для аналізу міцності матеріалу у шарі клейового з'єднання.

2. У зоні втулки напруження знаходяться на рівні напружень в зоні клейового компаунда, проте механічні характеристики матеріалу втулки набагато вищі, ніж у зоні клейового компаунда; виходячи із цього, вимоги до міцності слід у першу чергу застосовувати до зони В.

3. Переміщення за рахунок пружних деформацій у зоні С (основна частина плити) від дії прикладених силових чинників є домінуючими порівняно із переміщеннями, зумовленими пружними деформаціями у зонах А і В; таким чином, рекомендовано визначати жорсткісні характеристики, орієнтуючись на зону С.

4. При дії зусилля, нормального до серединної площини базової плити, напруження у зоні В у 2,0÷2,2 рази вище, ніж у випадку спрощеного їх обчислення; аналогічно, такі ж багатократні відмінності – і для інших варіантів дії силових чинників; отже, формування остаточних висновків щодо міцності матеріалу цієї зони слід здійснювати на основі аналізу напружено-деформованого стану із залученням підмоделей, у яких скінченно-елементні

моделі згущені у цій зоні.

5. Втулки А впливають в основному тільки на загальну точність базових плит в цілому, практично не впливаючи на її міцність та жорсткість.

Проведений аналіз результатів для випадків "глобальних" і "локальних" постановок задач визначення напружено-деформованого стану базових плит дає підставу про те, що доцільним є проведення дослідження також динамічних характеристик базових плит. Про це свідчить і практика експлуатації базуючих елементів. Дійсно, за певних співвідношень товщини, габаритів плити та властивостей її матеріалів можуть виникнути небезпечні резонансні режими. Таким чином, може виникнути "динамічна" задача, тобто визначення спектра власних частот коливань базової плити та співставлення його із частотами збуджуючих зусиль.

Таким чином, у підсумку на додаток до критеріальних та обмежувальних вимог щодо точності, жорсткості та міцності, обґрунтована ще і доцільність дослідження динамічних властивостей елементів технологічних систем, у першу чергу – базуючих елементів. Цей модуль є необхідним елементом спеціалізованого програмно-модельного комплексу, оскільки сама природа технологічних зусиль зумовлює їх динамічний характер та коливальний розподіл процесів у часі.

Підсумовуючи слід зазначити, що у підрозділі описане застосування різних модулів створеного спеціалізованого програмно-модельного комплексу стосовно елементів технологічних систем для виготовлення деталей об'єктів бронетанкової техніки. Крім ілюстраційних матеріалів, розроблені рекомендації щодо обґрунтування параметрів, зокрема базових плит пристосувань для верстатів фрезерно-свердильної групи. Також створені програмно-модельні розробки передані для використання у реальному виробництві.

Висновки за результатами розв'язання прикладних задач. Хід розв'язання низки прикладних задач, описаних у роботі, а також установлені закономірності та розроблені за результатами досліджень рекомендації дають підстави для наступних висновків.

Проведено аналіз точності, жорсткості та міцності базових плит пристосувань для оснащення верстатів фрезерно-свердильної групи з ЧПК, у т.ч. – типу ОЦ як елементів, що визначають підсумкові характеристики якості та продуктивності обробки, а також точності виготовлення деталей елементів бойових броньованих машин. Установлено, що на ці характеристики суттєво впливають габаритні розміри плит у плані, їх товщина та діаметр базуючих отворів. Крім того, визначено, що ці параметри впливають також на спектр власних частот і форм коливань базових плит. Виявлено також, що напружений стан у шарі клейового компаунду для закріплення базуючих втулок є суттєво неоднорідним. На основі аналізу результатів досліджень розроблені рекомендації щодо обґрунтування параметрів базових плит за критеріями точності, жорсткості, міцності та віброзбудливості, за раху-

нок чого поліпшені ці характеристики на $20 \div 25\%$.

Проведені дослідження, установлені закономірності впливу проектно-технологічно-виробничих чинників на технічні та тактико-технічні характеристики елементів ББМ і технологічних систем для їх виготовлення, а також рекомендації щодо технічних рішень, технологічних режимів, оснащення та умов виробництва і експлуатаційних умов формують масив інформації про результати розв'язання актуальних наукових прикладних задач.

Список літератури

1. Чубань М. А., Ткачук Н. А., Шейко А. И. [та інш.] Базовые плиты для оснащения приспособлений для станков с ЧПУ и ОЦ в спецпроизводстве: обоснование параметров на основе расчетных исследований. *Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Машиноведение и САПР*. Харьков: НТУ "ХПИ", 2016. № 39(1211). С. 114–124.
2. Ткачук Н.А., Климов В.Ф., Хлань А.В. [и др.] Компьютерный программно-аппаратный комплекс для анализа и синтеза моделей элементов объектов бронетанковой техники. *Вісник НТУ "ХПИ". Серия: Машинознавство та САПР*. Х., 2017. №12 (1234). С. 96–109.
3. Ткачук Н.А., Хлань А.В., Шейко А.И. [и др.] Разработка математического аппарата для решения задач расчетно-экспериментального исследования элементов механических систем. *Вісник НТУ "ХПИ". Серия: Машинознавство та САПР*. Х., 2017. №12 (1234). С. 110–131.
4. Ткачук Н. А., Хлань А. В., Набоков А. В. [и др.] Синтез проектно-технологических решений по критериям прочностных и жесткостных характеристик машиностроительных конструкций. *Вісник НТУ "ХПИ". Серия: Машинознавство та САПР*. Х., 2017. №12 (1234). С. 143–153.
5. Марченко А.П., Ткачук М.А., Соболев О.В. [и др.] Інноваційні технології композиційного зміцнення поверхні елементів виробів для оборонної та енергетичної галузей. *Механіка та машинобудування*, 2017. №1. С. 234–246.
6. Хлань А.В., Малакей А.Н., Ткачук Н.А. [и др.] Проектно-технологически-производственное обеспечение тактико-технических характеристик боевых бронированных машин: подходы, модели и методы. *Механіка та машинобудування*, 2017. №1. С. 156–182.

7. Литвиненко О., Ткачук М., Грабовський А. Різномірні моделі для дослідження міцності та жорсткості бронекорпусів легкоброньованих машин: фрагмент, макет, натурний об'єкт. *11-й Міжн. симп. укр. інж.-мех. у Львові: Тез. Львів: КІНПАТРИ ЛТД*, 2013. С. 76–77.

References (transliterated)

1. Chuban M. A., Tkachuk N. A., Sheyko A. I. [ta Insh.] Bazovyye plityi dlya osnascheniya prispособleniy dlya stankov s ChPU i OTs v spets-proizvodstve: obosnovanie parametrov na osnove raschetnykh issledovaniy. *Vestnik NTU "KhPI". Seriya: Mashinovedenie i SAPR*. Kharkov: NTU "KhPI", 2016, no. 39(1211), pp. 114–124.
2. Tkachuk N.A., Klimov V.F., Hlan A.V. [i dr.] Kompyuternyyi programmno-apparatnyi kompleks dlya analiza i sinteza modeley elementov ob'ektov bronetankovoy tehniki. *Vestnik NTU "KhPI". Seriya: Mashinovedenie i SAPR*. Kharkov: NTU "KhPI", 2017, no. 12 (1234), pp. 96–109.
3. Tkachuk N.A., Hlan A.V., Sheyko A.I. [i dr.] Razrabotka matematicheskogo apparata dlya resheniya zadach raschetno-eksperimentalnogo issledovaniya elementov mekhanicheskikh sistem. *Vestnik NTU "KhPI". Seriya: Mashinovedenie i SAPR*. Kharkov: NTU "KhPI", 2017, no. 12(1234), pp. 110–131.
4. Tkachuk N. A., Hlan A. V., Nabokov A. V. [i dr.] Sintez proektno-tehnologicheskikh resheniy po kriteriyam prochnostnykh i zhestkostnykh harakteristik mashinostroitelnykh konstruksiy. *Visnik NTU "KhPI". Seriya: Mashinovedenie i SAPR*. Kharkov: NTU "KhPI", 2017, no. 12(1234), pp. 143–153.
5. Marchenko A.P., Tkachuk M.A., Sobol O.V. [i dr.] Innovatsiyni tehnologiyi kompozitsynogo zmitsnennya poverhni elementiv virobiv dlya oboronnoyi ta energetichnoyi galuzey. *Mekhanika ta mashinobuduvannya*. Kharkov: NTU "KhPI", 2017, no. 1, pp. 234–246.
6. Hlan A.V., Malakey A.N., Tkachuk N.A. [i dr.] Proektno-tehnologichesk-proizvodstvennoe obespechenie taktiko-tehnicheskikh harakteristik boevykh bronirovannykh mashin: podhodyi, modeli i metody. *Mekhanika ta mashinobuduvannya*. Kharkov: NTU "KhPI", 2017, no. 1, pp. 156–182.
7. Litvinenko O., Tkachuk M., Grabovskiy A. Rizmornivni modeli dlya doslidzhennya mitsnosti ta zhorstkosti bronekorpusiv legkobronovanih mashin: fragment, maket, naturnyi ob'ekt. *11-y Mizhn. simp. ukr. injh.-meh. u Lvovi: Tез. Lviv: KINPATRI LTD*, 2013, pp. 76–77.

Поступила (received) 21.10.2017

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Хлань Олександр Володимирович (Хлань Александр Владимирович, Khlan Oleksandr) – генеральний директор ДП "Завод ім. В.О. Малишева", м. Харків, Україна; тел. (057) 7076902, e-mail: tma@tmm-sapr.org.

Ткачук Микола Анатолійович (Ткачук Николай Анатольевич, Tkachuk Mykola) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", завідувач кафедри "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин", м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4174-8213>. тел.: (057)7076902; e-mail: tma@tmm-sapr.org.

Грабовський Андрій Володимирович (Грабовский Андрей Владимирович, Grabovskiy Andrey) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", старший науковий співробітник кафедри "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин"; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6116-0572>. тел.: (057)7076166; e-mail: andrej8383@gmail.com.

Атрошенко Олександр Олександрович (Атрошенко Александр Александрович, Atroshenko Oleksandr) – кандидат технічних наук, TRW Automotive Czech, s.r.o. CAE Engineer, м. Jblonec nad Nisou, Чехія; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7693-9768>. тел.: (057)7076166; e-mail: atroshenko@tmm-sapr.org

Васильєв Антон Юрійович (Васильев Антон Юрьевич, Vasiliev Anton) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", докторант кафедри "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин"; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8106-0950>. тел.: (057)7076166; e-mail: AVasiliev@tmm-sapr.org

Танченко Андрій Юрійович (Танченко Андрей Юрьевич, Tanchenko Andrii) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", докторант кафедри "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин"; м. Харків, Україна; тел.: (057) 707-69-01; e-mail: ATanchenko@tmm-sapr.org.

Шеманська Вікторія Вікторівна (Шеманская Виктория Викторовна, Shemanskaya Viktoriya) – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", студентка гр. ТМ-866; м. Харків, Україна